ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 122 1962

ДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Г.А. МЕСЯЦ

Емкостный делитель, встроенный в кабель, используется для регистрации высоковольтных импульсов с длительностью фронта 10^{-9} *сек* [1], [2], [3]. Однако в известной нам литературе [4], [5], [6] и др. нет анализа работы таких делителей. Схематически конструкция делителя приведена на рис. 1.

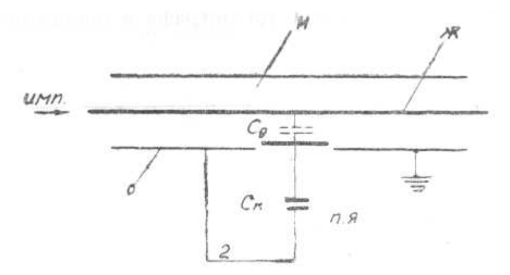


Рис. 1. Устройство разрядника; *и* — изоляция кабеля, *ж* - жила, *о* - оплетка.

На полиэтиленовую изоляцию кабеля накладывается металлическая пластина, которая образует емкость $C_д$ с жилой кабеля. Второй емкостью является собственная емкость пластин осциллографа $C_п$. Коэффициент деления такого делителя определяется из выражения

$$K = \frac{C_п + C_д}{C_д}. \tag{1}$$

Рассчитаем, при каких условиях такой делитель будет воспроизводить минимальный фронт при допустимых искажениях.

Схема замещения делителя представлена на рис. 2. Здесь емкость $C = \frac{C_п}{K}$, R – волновое сопротивление кабеля, индуктивность $L=L_п+L_в$) где $L_п$ – индуктивность подводящих проводников 1 и 2 (рис. 1), $L_в$ – собственная индуктивность вводов трубки. Пусть $L = k_L L_в$, где $k_L \geq 1$ – коэффициент индуктивности. Предполагаем, что напряжение на фронте импульса изменяется по закону

$$U_п = 1 - e^{-at}, \tag{2}$$

Так как для получения высоковольтных импульсов с фронтом порядка 10^{-9} *сек* чаще всего используют искровой разрядник, а характеристика коммутации разрядника близка к экспоненте [4]. Длительность фронта импульса $t_ф$, определяемая между значениями 0 и 0,9, составит

$$t_ф = \frac{2,3}{a}. \tag{3}$$

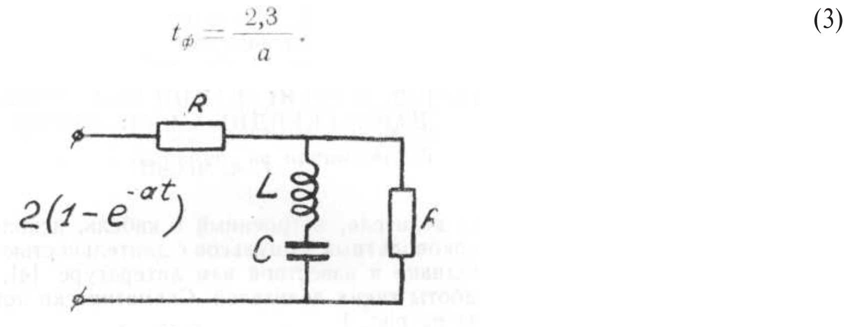


Рис. 2. Схема замещения.

Напряжение на пластинах осциллографа в операторной форме запишется так:

$$U_{осц}(p) = \frac{1}{K_g} \cdot \frac{2a}{(p+a)(2LCp^2 + RCp + 2)}. \tag{4}$$

Введением нового оператора $p' = \frac{p}{a}$ сократим число независимых параметров уравнения (4) с 4 до 2. При этом получим

$$U_{осц}(p') = \frac{1}{K} \cdot \frac{2}{(p'+1)(2Bbp'^2 + Bp' + 2)}, \qquad (5)$$

где $B = aRC,\ b = a\frac{L}{R}$.

Для случая колебательного заряда емкости С получим

$$U_{осц}(x) = \frac{1}{K_g} \cdot \left[1 - \frac{1}{Bb - \frac{B}{2} + 1} \cdot e^{-x} - \frac{Bb - \frac{B}{2}}{\left(Bb - \frac{B}{2} + 1\right)\sin\varphi} \cdot e^{-\frac{x}{4b}} \cdot \sin(\omega x + \varphi) \right], \qquad (6)$$

где $\omega = \sqrt{\frac{1}{Bb} - \frac{1}{16b^2}}$; $\sin\varphi = \frac{\omega\left(bB - \frac{B}{2}\right)}{\sqrt{Bb - \frac{B}{2} + 1}}$; $x = at.$

Ошибка F, вносимая делителем:

$$F = \frac{1}{K}(1 - e^{-x}) - U_{осц} = \frac{1}{K_g}\left[\frac{Bb - \frac{B}{2}}{1 + Bb - \frac{B}{2}} e^{-x} + \frac{Bb - \frac{B}{2}}{1 + Bb - \frac{B}{2}} \cdot e^{-\frac{x}{4b}} \sin(\omega x + \varphi) \right]. \qquad (7)$$

Величина F меняется во времени, причем при t=0, F=0. Из уравнения следует, что искажения, вносимые делителем, будут малыми, если будет малой величина

$$m = Bb - \frac{B}{2} \ll 1 \qquad (8)$$

и амплитуда синусоиды

$$A = \frac{Bb - \frac{B}{2}}{\left(Bb - \frac{B}{2} + 1\right)\sin\varphi} \ll 1. \qquad (9)$$

При соблюдении (8) условие (9) запишется:

$$\frac{\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16m}}{\sqrt{16 - \alpha}} \ll 1, \qquad (10)$$

где $\alpha = \frac{B}{b}$.

Таким образом, выбором соответствующих величин m и α можно получить малые искажения фронта импульса.

Определим величину ошибки F при заданной погрешности Δx в длине фронта импульса

$$F = 0{,}1 - e^{-(x_{ф} \pm \Delta x)}. \qquad (11)$$

При погрешности ±10% величина Δx=0,23 и ошибка F=±0,02–0,026. Для того, чтобы искажения были малыми, необходимо уменьшать амплитуду наложенных колебаний. Влияние колебаний будет несущественным, если будет мала амплитуда A. Пусть

$$A = \frac{\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16\,m}}{\sqrt{m+1}\cdot\sqrt{16-\alpha}} = 0,1. \qquad (12)$$

Фактически амплитуда будет меньше в $e^{\frac{x}{4b}}$ раз.

Так как m <<1, а α<<16, то уравнение (12) упростится и примет вид

$$\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16\,m} = 0,4. \qquad (12')$$

Из (12') определим $m=f(\alpha)$

$$m = 0,01 - 0,05\sqrt{\alpha}. \qquad (13)$$

При значениях m, рассчитанных по (13), первый член выражения (7) для ошибки F будет много меньше второго, поэтому

$$F \approx \frac{1}{4}\left(\sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha + 16\,m}\right) e^{-\frac{x}{4b}} \sin(\omega t + \varphi). \qquad (14)$$

При значениях $\alpha \geq 0,04$ максимальное значение F при $x=x_ф \pm \Delta x$ лежит в пределах, указанных для $\Delta x = \pm$ 10%.

Таким образом, условие (13) при высказанных выше соображениях является необходимым и достаточным, чтобы погрешность в регистрируемом фронте импульсов не превышала 10%, а амплитуда колебаний на фронте была меньше 10%.

Из уравнения (8) определим длительность фронта $t_ф$ в зависимости от m и α, учитывая (3)

$$t_ф = \frac{9,2\,R\,C_n}{K\left(1 + \sqrt{1 + 16\,m\,\alpha}\right)}. \qquad (15)$$

Вместо m подставим его значения из (13)

$$t_ф = \frac{9,2\,C_n}{K\left(1 + \sqrt{1 + 0,16\,\alpha - 0,8\,\alpha\sqrt{\alpha}}\right)}. \qquad (15')$$

Выразим α через коэффициент деления K, волновое сопротивление кабеля R и параметры электронно-лучевой трубки.

Так как $B = a\frac{RC_n}{K}$, $b = a\frac{\hat{e}_L L_6}{R}$ è $L_6 = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C_n}$, где f_0 – резонансная частота отклоняющей системы трубки, то

$$\alpha = \frac{4\pi^2 R^2 C_n^2 f_o^2}{K\,\kappa_L}. \qquad (16)$$

Подставляя α в (15'), получим зависимость минимального фронта импульса, который может быть зарегистрирован данным делителем без существенных искажений от всех параметров регистрирующей системы.



Рис. 3. Зависимость длительности фронта импульса от коэффициента деления.

В качестве примера рассчитаем t_{cfi} для трубки 13 ЛО5А и кабеля с волновым сопротивлением 75 *ом*.

Для этой трубки f_0 = 600–10^6 *гц*, C_n=5·10^{-12} *ф*. При тщательной компановке устройства можно получить $K_L \approx 1$.

Подставляя все эти величины в (16), получим

$$\alpha \approx \frac{2}{K_g}.$$

Таким образом, для данной трубки и кабеля $t_ф$ зависит только от коэффициента деления K_g. Зависимость $t_ф$ от K_g приведена на рис. 3.

Из графика рис. 3 следует, что теоретически при больших K_g можно регистрировать импульсы с фронтом менее 10^{-9} *сек*. Практически минимальная величина $t_ф$ будет ограничиваться временем пролета электрона в поле отклоняющих пластин трубки [4].

Таким образом, в результате расчетов доказано, что емкостный делитель, встроенный в кабель, может воспроизводить без существенных искажений импульсы с длительностью фронта 10^{-9} *сек*.

ЛИТЕРАТУРА

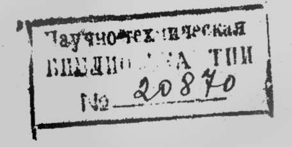
1. R.C. Fletcher, "Rev. Sci. Instr." 20 №12, p. 124, 1949.
2. Н.А. Протопопов, В. М. Кульгавчук. ПТЭ, №1, 1960.
3. Г.А. Месяц. "Труды III межвузовской конференции по электронным ускорителям", г. Томск, 1961.
4. И.С. Стекольников. "Импульсная осциллография и ее применение", Изд-во АН СССР, 1949.
5. Б. Геллер, А. Веверка. "Волновые процессы в электрических машинах", Госэнергоиздат, 1960.
6. И. Льюис, Ф. Уэлс. Миллимикросекундная импульсная техника, Из-во иностранной литературы, 1956.

825

ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
имени С. М. Кирова

Том 87

Электронные циркулярные ускорители



ИЗДАНИЕ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

ТОМСК 1957 г.

СОДЕРЖАНИЕ

(Известия ТПИ. – Т. 87. – 1957)